

滩涂围垦区的 PRED 关系——以慈溪市为例

冯利华, 鲍毅新

(浙江师范大学, 浙江 金华 321004)

摘要:根据历史数据和 2020 年全面建设小康社会的标准,利用系统动力学(SD)模型,仿真研究了慈溪市未来政策实施后 PRED(滩涂围垦区的人口、资源、环境和发展不协调简称为 PRED 问题)关系的不同情况。同时指出,对于慈溪市来说,单方面追求经济的快速发展、以牺牲环境作为代价的方案 1 和把环境保护作为第一目标、经济慢速发展的方案 2 都是不可取的,只有人口、资源、环境和发展同时兼顾的方案 3 才是首选方案。

关键词:滩涂围垦区; PRED(滩涂围垦区的人口、资源、环境和发展不协调简称为 PRED 问题)关系;系统动力学;仿真;方案

中图分类号: X24; X22

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2006)04-0088-04

中国沿海地区人口稠密,经济发达,但人多地少的矛盾十分突出,如浙江省人均耕地面积只有 0.036 hm^2 ,低于联合国粮农组织(FAO)规定的警戒线。因此,滩涂成为一种颇具开发潜力的土地资源^[1]。在目前要求流域退耕还林和退耕还湖的情况下,滩涂却可以退海垦殖,并且由于河流泥沙入海,滩涂还是一种动态增长的后备土地资源^[2,3]。但是,长期以来由于一些不合理的开发利用,滩涂围垦区的人口(Population)、资源(Resource)、环境(Environment)和发展(Development)不协调(简称 PRED 问题),以致资源日渐枯竭,环境日趋污染,最终影响了社会经济的可持续发展。为了实现 2020 年全面建设小康社会的目标,拟根据系统动力学的原理和方法,以浙江省慈溪市为例,对滩涂围垦区的 PRED 问题作一分析。

1 滩涂围垦区的 PRED 问题

慈溪市位于杭州湾南岸,人口 100.6 万,面积 $1\,154 \text{ km}^2$,海岸线长 75.94 km 。据史料考证,现市域 70% 以上的面积由滩涂围垦而成,因为在 11 世纪初,海岸线还在临山、浒山、龙山一带。1341 年建成大沽塘,其后又相继建成了九道海塘,使海岸线向外推移了约 16 km ^[4]。尤其是建国以来,由于对土地的迫切需要,采取了一系列促淤围垦措施,海岸线外推速度明显加快,四灶浦至海王山之间的海岸线平均每年外推 $100 \sim 150 \text{ m}$,1950~2000 年围涂面积 $15\,000 \text{ hm}^2$ 。由于受地转偏向力的作用,钱塘江潮流始终偏向杭州湾北岸,因而慈溪市北部的三北浅滩一直处在淤涨之中,是目前浙江省最大的滩涂,开发

潜力巨大,据估算慈溪市理论深度基准面线以上的滩涂面积达 $42\,000 \text{ hm}^2$ 。

由于丰富的滩涂资源和长期辛勤的耕作,慈溪市的社会经济发展很快。该市优势经济作物主要有棉花、油菜、蚕豆、蜂蜜、药材、水果等,其中棉花已有 700 a 多的种植历史,棉花种植面积占全省棉地面积的 $1/3$,被称为“浙江棉仓”,工业经济增势强劲,已形成电子电器、五金机械、塑料化纤、纺织服装等 30 多个行业的工业体系。改革开放以来,本市的社会经济得到了长足的发展,2002 年全市实现国内生产总值(GDP)206 亿元,人均 GDP 达到 2 480 美元,是全国平均水平的 2.9 倍,因此在历届全国综合实力百强县(市)评比中,慈溪市均榜上有名。

但是长期以来,由于追求经济的快速发展,以致出现了 PRED 问题。建国后慈溪市虽然进行了大规模的滩涂围垦,但随着人口和非农用地的增加,人均耕地面积一直呈下降趋势,到 2002 年人均耕地面积减少到 0.044 hm^2 。慈溪市环境污染主要来自 3 个方面:(1) 工业废水、烟尘和残渣等污染;(2) 化肥、农药、农膜、生长调节剂等污染;(3) 生活污水、垃圾和畜禽养殖业排泄物等污染。从 1990~2000 年,工业废水排放量达到 $300 \sim 400 \text{ t/a}$,化肥施用量达到 $9 \sim$

收稿日期:2004-04-19;修回日期:2004-07-18

基金项目:浙江省自然科学基金重大项目(ZE0204)

作者简介:冯利华(1955-),男,浙江建德人,教授,主要从事自然地理学的教学与研究工作,电话:0579-2306806, E-mail:fenglh@zjnu.cn

10 t/a, 农药施用量在 1 000 t/a 以上, 尤其是剧毒农药甲胺磷的施用量超过 300 t/a。据宁波市农业环境监测站对慈溪市周巷、新浦、横河 3 个镇的抽样测定, 土壤中六六六、DDT 的残留检出率达 100 %^[5], 这对农业环境和人体健康造成极大威胁。目前全市江河湖泊普遍富营养化, 主要污染因子是高锰酸盐指数和生化需氧量及溶解氧, 尤其是中河区、西河区所有站点的水质均超过 V 类。慈溪市年平均降水量为 1 324.1 mm, 属于湿润-半湿润地区, 年平均淡水资源总量为 7.24 亿 m³, 水资源比较丰富。但由于本区人口密度大 (872 人/km²), 人均水资源量只有 720 m³, 仅为全国平均水平的 1/4, 再加上人为的水质污染, 慈溪市已成为浙江省严重缺水的县(市)。为了解决缺水难题, 慈溪市已于近年斥巨资向余姚市的梁辉水库买水; 2003 年 1 月 10 日, 该市再次出资 5.14 亿元, 向绍兴市汤浦水库购买 6 666 万 m³/a 的淡水资源(供水年限到 2022 年为止), 成为水利部提出“水权与水市场”理论并继浙江省义乌市向东阳市横锦水库买水之后的第二和第三笔水权交易。由此可见, 淡水资源已成为严重制约本区社会经济可持续发展的瓶颈。

2 理论与方法

滩涂围垦区的 PRED 系统是一个涉及人口、资源、环境、生态、社会、经济、技术等众多因子的纷繁复杂的大系统。这些因子互为因果、互相制约, 其中既有正反馈作用, 又有负反馈作用。PRED 系统是否能互相协调? 这完全取决于未来的政策参数(经济措施、发展速度、战略方针等), 但政策参数的选取是一个难题, 而系统动力学正好为解决这一难题提供了一种十分有效的数学方法^[6]。

系统动力学(System Dynamics, 简称 SD)是麻省理工学院教授 Forrester 于 1956 年创立的。它是基于系统论, 并吸取控制论和信息论的精髓而形成的一门崭新的学科。系统动力学最大的优点是能够处理高阶次、非线性、多重反馈、复杂时变的系统问题。它根据现实系统的内在联系和历史数据, 建立系统动态模型, 借助计算机进行仿真和寻优试验, 是研究复杂大系统运行规律的理想方法^[7]。

2.1 系统的指标体系

PRED 系统涉及众多因子, 如果把它们都作为影响因子来考虑, 划分在系统边界之内, 那么会得到一个庞大的指标体系, 这不仅会增加分析工作量, 而且还会冲淡主要指标的作用, 甚至可能使计算结果变得扑朔迷离。因此, 指标体系的选择应符合简练性原

则, 即选择那些对 PRED 系统有重要影响的指标。

根据简练性原则分析, 对慈溪市 PRED 系统有重要影响的指标包括人口总量、人口自然增长率、资源数量、污水排放量、生活垃圾、GDP、工农业总产值、耕地面积等。

2.2 系统的反馈结构

根据慈溪市 PRED 系统研究涉及的指标体系, 可以将其分为 4 个子系统, 即人口子系统、资源子系统、环境子系统和发​​展子系统。系统动力学认为, 子系统与子系统之间、子系统内部各因子之间存在着互为因果的关系, 并且这种关系形成闭合的反馈结构。系统的行为是由系统的结构决定的, 特别是系统的反馈结构对系统的发展变化具有重大的影响。其中正反馈结构具有自增长的作用, 负反馈结构具有自平衡的作用(即寻的功能)。如对于可供水量来说, 具有如下的因果反馈回路: 可供水量 $\rightarrow^+$ 农业用水量 $\rightarrow^+$ 农业发展速度 $\rightarrow^+$ 农业总产值 $\rightarrow^+$ 灌溉基建投资 $\rightarrow^+$ 供水能力 $\rightarrow^+$ 可供水量。这是一个正反馈系统, 因为可供水量增加能够促进农业发展, 而农业发展又能够增加灌溉基建投资, 进而增加可供水量。对于污水排放量来说, 具有如下的因果反馈回路: 污水排放量 $\rightarrow^+$ 水域污染程度 $\rightarrow^+$ 环保投资 $\rightarrow^+$ 工业投资 $\rightarrow^+$ 工业发展速度 $\rightarrow^+$ 工业总产值 $\rightarrow^+$ 污水排放量。这是一个负反馈系统, 因为污水排放量增加会使环保投资增加, 这样使工业投资减少, 影响工业发展, 以致工业总产值减少, 从而使污水排放量减少。

2.3 系统的模型构造

根据系统的指标体系和反馈结构, 可以确定系统的因果关系图和流图。但这些图只能简单地说明系统中各变量间的逻辑关系, 而不能显示其定量关系, 因此需要利用专门的 DYNAMO 语言, 建立系统动力学方程。系统动力学采用的变量包括状态变量、速率变量和辅助变量, 相应的方程为状态方程、速率方程和辅助方程。系统动力学方程正是由这一组动态方程有机地组合构成的, 它真实地反映了 PRED 系统的动态变化过程。在这里, 状态方程是主导方程, 它定量地描述了动态系统变量的时间累积过程。

根据慈溪市实际情况和 SD 模型需要, 全面收集了 1990 年以来 PRED 系统的有关数据和资料。再根据慈溪市 PRED 系统的特点, 建立人口、资源、环境和发展 4 个子系统的系统动力学方程。模型中共选取了 80 多个变量和参数, 有 6 个状态方程和 6 个速率方程以及大量的辅助方程, 用了 2 个阶跃函数、3 个表函数、3 个斜坡函数和 10 个剪差函数等。该模型应用 PD⁺ (Professional Dynamo Plus) 软件运行。

历史回顾性检验时间为 13 a (1990~2002 年), 仿真终止时间到 2020 年, 步长为 1 a。经过参数误差和灵敏度分析, 表明模型结构是合理的, 能够反映慈溪市 PRED 系统的实际特征, 因而可以用来预测未来政策参数实施后系统的动态发展过程。

3 滩涂围垦区的 PRED 方案比较

从上面的分析可以看到, 慈溪市的人口、资源、环境与发展已经不协调, PRED 矛盾十分突出。为了探讨未来 20 a 本区人口、资源、环境与发展互相协调的途径, 根据历史数据和全面建设小康社会的标准, 选取人口、农业、工业和 GDP 增长速度、资源开发量、污水处理量等指标作为政策参数, 利用 SD 模型, 仿真了 3 种发展方案, 即以经济发展为主要目标的方案 (经济发展型方案——方案 1)、以环境保护为主要目标的方案 (环境保护型方案——方案 2)、兼顾经济发展和环境保护的方案 (经济环境兼顾型方案——方

案 3)。现分别对这 3 种方案下的 PRED 关系进行详细分析。

3.1 方案 1

该方案把经济发展放在首要位置, 因此到 2016 年即可实现全市 GDP 翻两番的目标, 到 2020 年, GDP 达到 919.7 亿元 (表 1), 而在 2006 年就已进入小康社会 (人均 GDP > 3 000 美元)。但由于缺乏投资, 开源节流和水的重复利用受到限制, 供水能力大大降低, 到 2007 年, 总需水量就超过可承载总用水量, 到 2020 年, 总需水量达到 4.29 亿 m^3 , 而可承载总用水量只有 2.80 亿 m^3 , 水资源存在着 1.49 亿 m^3 的巨大缺口。由于单方面追求经济的快速发展, 导致废弃物增加和环保投资减少, 到 2020 年, 工业废水排放量和生活垃圾分别达到 1 010 万 t 和 36.5 万 t, 可见污水横流, 垃圾遍地, 生态环境受到严重损坏, PRED 关系极不协调。

表 1 慈溪市 PRED 关系 3 种方案主要指标的变化情况

Tab. 1 Change of main targets of three alternatives of relationship between population, resource, environment and development of Cixi City

方案	年份	人口 总数 (万人)	总需 水量 (亿 m^3)	可承载 总用水量 (亿 m^3)	工业废水 排放量 (万 t)	生活 垃圾 (万 t)	国内 生产总值 (亿元)	农业 总产值 (亿元)	工业 总产值 (亿元)
方 案 1	2000	101.1	2.04	2.06	410	16.5	164.1	207.3	499.7
	2005	103.7	2.28	2.34	560	21.5	252.5	318.9	768.9
	2010	106.3	2.78	2.54	710	26.5	388.5	490.7	1 183.1
	2015	109.0	3.40	2.67	860	31.5	597.7	755.0	1 820.3
	2020	111.7	4.29	2.80	1 010	36.5	919.7	1 161.6	2 800.7
方 案 2	2000	101.1	2.04	2.06	410	16.5	164.1	207.3	499.7
	2005	101.6	2.15	2.34	421	17.1	219.6	277.4	668.8
	2010	102.1	2.44	3.04	432	17.7	293.9	371.2	895.0
	2015	102.6	2.71	3.71	442	18.2	393.3	496.7	1 197.6
	2020	103.1	3.04	4.41	453	18.8	526.3	664.7	1 602.7
方 案 3	2000	101.1	2.04	2.06	410	16.5	164.1	207.3	499.7
	2005	102.6	2.21	2.34	485	19.0	235.6	297.6	717.4
	2010	104.2	2.60	2.79	560	21.5	338.2	427.2	1 030.0
	2015	105.7	3.02	3.19	635	24.0	485.6	613.3	1 478.7
	2020	107.3	3.58	3.61	710	26.5	697.1	880.5	2 122.8

3.2 方案 2

该方案把环境保护作为第一目标, 因此环保投资力度逐年加大, 废弃物逐年减少, 到 2020 年工业废水排放量和生活垃圾分别只有 453 万 t 和 18.8 万 t (表 1), 处理率也大大提高, 已完全消除劣于三类水的河流与湖泊, 届时全市水域碧波荡漾, 生态环境面

目一新。由于人口、农业、工业增长速度放慢, 总需水量 (尤其是工业需水量) 大大减少, 远低于可承载总用水量 (表 1)。当然由于全社会固定资产投资减少, 资源开发强度减缓, 工农业发展受到限制, 虽然 2020 年也能进入小康社会, 但未能实现全市 GDP 翻两番的目标。

3.3 方案3

经济建设和环境污染、资源消耗往往是孪生的,但经济建设不能以牺牲环境作为代价,对资源的消耗不能超过生态系统的修复功能,人口、资源、环境和经济发展的互相协调才是追求的目标。方案3充分考虑了慈溪市人口、资源、环境与经济发展的关系,权衡了各方利弊,对PRED关系进行了优化组合。该方案表明,只要加快滩涂围垦和相应的配套建设,全力做好招商引资工作,适时调整产业结构,大力扶持优势和特色产业,努力发展外向型经济,到2020年就能够实现全市GDP翻两番的目标(表1),率先跻身于小康社会,并超过当时中等收入国家的平均水平。同时可承载总用水量达到3.61亿 m^3 ,能够满足总需求量的要求,环境污染也得到有效控制,形成适宜的人居环境,PRED关系能够互相协调。

综上所述,对于慈溪市来说,单方面追求经济的快速发展、以牺牲环境作为代价的方案1和把环境保护作为第一目标、经济慢速发展的方案2都是不可取的,只有人口、资源、环境和经济发展同时兼顾的方案

3才是首选方案。

参考文献:

- [1] 王珍岩,张慧霞,郜昂. 胶州湾东岸滩涂环境的遥感监测[J]. 海洋科学, 2003, 25(8): 8-10.
- [2] 陈君,陆丽云. 江苏沿海滩涂后备土地资源的开发研究[J]. 海洋科学, 2001, 25(10): 23-25.
- [3] 吴宇哲,鲍海君,吴次芳,等. PRED框架下的土地利用[J]. 农业经济问题, 2004, 2: 13-17.
- [4] 中国海湾志编撰委员会. 中国海湾志(第五分册)[M]. 北京:海洋出版社, 1992. 85-86.
- [5] 严力蛟,赵左士,孙士林,等. 慈溪市生态环境问题及其对策研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17(4): 296-299.
- [6] 王其藩. 高级系统动力学[M]. 北京:清华大学出版社, 1995. 20-35.
- [7] Cooke D L. A system dynamics analysis of the Westray mine disaster [J]. *System Dynamics Review*, 2003, 19(2): 139-166.

Relationship between population, resource, environment and development of reclamation area of tidal flats—a case of Cixi City

FENG Li-hua, BAO Yi-xin

(Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Received: Apr. 19, 2004

Key words: reclamation area of tidal flats; relationship of population, resource, environment and development (PRED); system dynamics; simulation; alternative

Abstract: According to historical data and standard to build a small-scale wealthy society in 2020, using a system dynamics (SD) model, different conditions of relationship of population, resource, environment and development (PRED) in Cixi City after future policy application are artificially researched. It is pointed out at the same time that, in regard to Cixi City, the alternative 1 to only seek for speedy economical development at the price for sacrificing environment and the alternative 2 to first aim at environment protection at the price for developing slowly economy do not produce good results. Only the alternative 3 of giving attention to population, resource, environment and development is a first selection.

(本文编辑:刘珊珊)